

Sistem-Sistem Fotogrametri Kos Rendah: Satu Perbandingan

Anuar Ahmad

Panel Remote Sensing dan Fotogrametri
Fakulti Ukur dan Harta Tanah Universiti
Teknologi Malaysia

Abstrak

Kertas kerja ini mengutarakan satu perbandingan beberapa sistem fotogrametri kos rendah yang menggunakan kamera metrik format kecil. Dari perbandingan kerja ini didapati ada satu sistem yang boleh menghasilkan ketepatan yang hampir sama dengan hasil dari alat plot analitik. Oleh itu sistem yang didapati boleh digunakan bagi gunapakai-gunapakai fotogrametri.

1.0PENGENALAN

Kebanyakan alat-alat plot analitik yang terdapat di pasaran direkabentuk bagi menyelesaikan masalah-masalah fotogrametri sama ada fotograf yang di ambil dengan kamera berpengkalan di bumi atau di udara. Kebiasannya fotograf-fotograf di ambil dengan menggunakan kamera metrik format besar (230 mm x 230 mm). Tetapi hari ini penggunaan kamera metrik dan bukan metrik berformat kecil (saiz format hingga 70 mm) telah meningkat dan meluas untuk berbagai bidang. Walaupun fotograf diambil dari kamera format kecil, masalah bagi mendapatkan maklumat metrik melalui kaedah fotogrametri telah dapat di selesaikan dengan adanya alat plot analitik. Alat plot analitik mampu menyelesaikan masalah-masalah fotogrametri samada fotograf-fotograf di ambil dari kamera metrik atau kamera bukan metrik serta samada fotograf yang mempunyai format berbagai saiz. Walaupun demikian harga alat-alat plot analitik di pasaran masih mahal (RM 200 000 - RM 800 000). Akibatnya tidak banyak organisasi ukur dan pemetaan yang mampu memiliki alat plot analitik walaupun disedari bahawa hasil yang diberikan berketepatan tinggi.

Kesan dari kurang kemampuan memiliki alat plot analitik, tetapi disebaliknya pula terdapat peningkatan penggunaan kamera metrik dan kamera bukan metrik format kecil, hari ini telah terdapat di pasaran beberapa sistem fotogrametri analitik kos rendah. Jumlah kos bagi sistem yang lengkap (iaitu perkakasan dan perisian) adalah sekitar RM 5 000 - RM 200 000. Harga ini boleh dikatakan lebih rendah dari kos alat plot analitik yang lengkap. Kos yang rendah bagi sistem fotogrametri ini menjadikan teknik fotogrametri lebih menarik kepada ramai pengguna. Sebahagian daripada sistem-sistem fotogrametri kos rendah ini menggunakan imej berdigit manakala sebahagian yang lain menggunakan fotograf salinan keras (cetakan atau diapositif). Di samping itu kesmua sisitem-sistem fotogrametri kos rendah menggunakan komputer peribadi.

Kertas kerja ini membincangkan hasil dari empat sistem fotogrametri kos rendah dengan hasil dari alat plot analitik Zeiss Planicomp P3 dalam satu penyelidikan yang dijalankan (Anuar, 1992).

2.0 SISTEM FOTOGRAMETRI KOS RENDAH

Sistem-sistem yang digunakan untuk perbandingan adalah FOTOMASS, Ada, Technology MPS-2, Leica DVP (Digital Video Plotter) dan Leica ELCOVISION10. Semua sistem-sistem ini direkabentuk

bagi fotografi format kecil dan data-data yang diperolehi boleh dipindahkan kepada perisian-perisian CAD. Maklumat-maklumat ringkas mengenai sistem yang digunakan dibincangkan dalam seksyen berikut:-

2.1 Fotomass (FM)

FM adalah satu sistem perisian yang boleh digunakan untuk pengukuran berdasarkan sistem komputer peribadi yang dimajukan bagi merektifikasikan dan menilai permukaan-permukaan yang rata sahaja. Ia menggunakan fotograf-fotograf lazim (cetakan kertas) dan bukannya negatif atau diapositif. Dari sistem ini, penilaian boleh dibuat dari satu fotograf sahaja. Fotograf yang digunakan memerlukan minimum empat titik kawalan (samada koordinat-koordinat 2D atau 3D) atau dua jarak yang diketahui (iaitu jarak bersudut tepat antara satu sama lain). Fotograf diukur di atas meja pendigitan dan pengukuran yang dibuat dimasukkan terus ke dalam perisian CAD (contoh, AutoCAD) untuk memproses data-data secara grafik. Sistem ini memerlukan perkakasan seperti kamera metrik dan bukan metrik, komputer bersama-sama dengan dua monitor, meja pendigitan dan pemplot.

2.2 Adam Technology MPS -2

Adam Technology MPS-2 adalah sejenis alat plot analitik yang direkabentuk untuk fotografi metrik dan bukan metrik format kecil (iaitu untuk kamera yang mempunyai format 70mm dan 35mm). Ianya direkabentuk sebagai sistem perolehan data-data fotogrametri kos rendah. Ianya juga direkabentuk untuk mengurangkan kekomplekan, berat dan kos perkakasan fotogrametri. Di samping itu ia direkabentuk untuk mengelakkan penggunaan fotografi format besar dan operator-operator fotogrametri yang terlatih. Ukuran-ukuran yang diperolehi dari alat ini boleh dipindahkan kepada perisian CAD. Sistem ini boleh diselenggarakan oleh pengguna dan untuk maksud ini perisian 'diagnostic' disediakan untuk membantu kerja-kerja penyemakan alat. Kos sistem ini lebih rendah berbanding dengan lain-lain alat plot analitik lazim yang terdapat di pasaran. Dengan sistem ini, gunapakai-gunapakai seperti 'biostereometrics', pengukuran industri, arkeologi dan senibina boleh mengumpulkan maklumat-maklumat tepat pada kos yang rendah dari fotografi format kecil.

Perkakasan bagi sistem ini terdiri daripada alat plot analitik MPS-2 (saiz 800 x 450 x 350mm) yang ringan dan mudah alih. Di samping itu perkakasan lain adalah komputer, kamera metrik dan bukan metrik dan pemplot. Manakala perisian bagi sistem ini adalah perisian ADAM.

2.3 Leica DVP (Digital Video Plotter)

DVP adalah sistem fotogrametri kos rendah yang dimajukan di Laval University, Quebec, Kanada. Ianya direkabentuk untuk membangunkan perisian yang mampu menggunakan perkakasan komputer secara optimum supaya masalah-masalah fotogrametri boleh diselesaikan secara efisien dan dapat melaksanakan kerja melebihi dari kemampuan peralatan fotogrametri lazim, (Gagnon et al, 1992). Sistem ini menggunakan imej-imej berdigit yang boleh diperolehi dengan mengimbas (scanning) cetakan fotografi (kertas). Operasi DVP dilaksanakan dengan menggunakan komputer peribadi. Imej-imej berdigit dipaparkan kepada dua bahagian pada skrin monitor. Imej-imej ini dilihat secara stereoskopi dengan menggunakan satu sistem penglihatan yang mudah. Apabila model tiga dimensi telah terbentuk, koordinat-koordinat tiga dimensi boleh dikutip. Oleh kerana sistem ini menggunakan data berdigit dan boleh menghasilkan data-data berdigit juga, ia boleh dianggap sebagai sistem fotogrametri berdigit (digital photogrammetry).

Sistem ini berguna untuk kerja-kerja yang tidak memerlukan ketepatan yang tinggi seperti yang dihasilkan oleh alat-alat plot analitik lazim. Ia juga berguna untuk institusi-institusi pendidikan untuk mengajar pelajar-pelajar mengenai prinsip-prinsip fotogrametri analitik dan fotogrametri berdigit serta untuk latihan operator-operator fotogrametri. Di samping itu sistem ini boleh digunakan untuk menghasilkan peta-peta topografi, peta-peta tematik dan data tiga dimensi untuk pengkalan data GIS/LIS.

Perkakasan yang diperlukan bagi sistem ini terdiri daripada kamera metrik, komputer, meja pendigitan, pemplot dan pengimbas.

2.4 Leica ELCOVISION 10

Sistem ini adalah berasaskan pada sistem komputer peribadi. Ia membenarkan pengukuran tiga dimensi dan plotan bagi sebarang projek dari fotograf (cetakan kertas). Sistem ini menggunakan pasangan stereo tetapi penglihatan stereoskopi tidak diperlukan. Ini merupakan satu kelebihan bagi mereka-mereka yang tidak boleh melihat secara stereoskopi. Sistem ini mudah digunakan dan tidak memerlukan sebarang kemahiran atau operator terlatih untuk ambil fotograf dan mengutip data. Dalam sistem ini, sepasang foto stereo diletakkan di atas meja pendigitan dan pendigitan dibuat secara bergilir-gilir. Katakan pendigitan dimulakan pada titik *a* atas foto kiri dandikuti dengan titik yang sepadan pada foto kanan. Proses ini diulang sehingga semua maklumat-maklumat telah dikutip.

Dalam sistem ini kamera metrik khas yang dipanggil Leica R5 ELCOVISION 35 mm digunakan sama seperti kamera biasa 35mm untuk mengambil fotograf. Kamera ini mempunyai plat reseau kaca yang diletakkan pada satah fokus yang mengunjurkan sebanyak 5 x 7 grid-grid secara automatik apabila dedahan untuk ambil fotograf dibuat. Kamera ini juga mempunyai banyak jenis kanta yang boleh ditukar ganti, dedahan automatik, pengangkut filem bermeter dan data-data untuk rekod dedahan. Semasa fotografi kamera boleh dipegang dengan tangan atau diletakkan atas kakitiga. Perkakasan lain yang diperlukan dalam sistem ini terdiri daripada komputer, meja pendigitan dan pemplot.

3.0 KAEDAH PERBANDINGAN

Perbandingan sistem-sistem fotogrametri kos rendah dibahagikan kepada dua iaitu perbandingan dari segi ciri-ciri sistem dan perbandingan data-data yang diperolehi dari setiap sistem.

3.1 Perbandingan ciri-ciri sistem

Semua sistem menggunakan menu dan komputer peribadi dan pemplot dari jenis yang sama. Harga bagi semua sistem ini lebih rendah berbanding dengan alat plot analitik. Sistem-sistem ini sesuai digunakan untuk gunapakai-gunapakai fotogrametri udara dan bumi serta kegunaan sesuatu sistem ini bergantung pada gunapakai yang tertentu. Perbandingan ciri-ciri sistem diberikan dalam Jadual 1 (Anuar, 1992).

Sistem	FOTOMASS	A d a m T e c h n o l o g y MPS-2	Leica DVP	L e i c a ELCOVISION10
P e l a r a s a n 'Bundle'	Tiada	Tiada	Tiada	Ada

Cara guna	Sukar	Mudah	Mudah	Mudah
S i s t e m pengukuran imej	Monoskopi	Stereoskopi	Stereoskopi	Stereoskopi
Saiz imej maksimum (cm)	Bergantung pada saiz imej	6x6	23x23	20x30
Paramuka ke sistem CAD	Boleh	Boleh	Boleh	Boleh
Imejeri	Kertas cetakan	Diapositif	Data berdigit	Kertas cetakan
Bilangan titik kawalan minimum	3	3	3	3
Bilangan foto yang diperlukan	1	2	2	2
Pelaraian (resolution) sistem pengukuran (μm)	100	4	42	25
Jenis kamera*	m & bm	m & bm	m	m
Berat (kg)	6	20	6	6
Kos	Rendah	Tinggi	Sederhana	Tinggi

* m = metrik
bm= bukan metrik

Jadual 1: Ciri-ciri sistem fotogrametri kos rendah

3.2 Perbandingan data-data sistem

Sebelum perbandingan data-data sistem dibuat, kerja-kerja lapangan perlu dibuat, Kerja-kerja ini melibatkan penubuhan dan cerapan titik-titik kawalan pada satufasad (facad) bangunan yang rata dan pengambilan fotograf.

3.2.1 Penubuhan dan cerapan titik kawalan

Terdapat lima titik kawalan yang dipilih pada fasad bangunan yang rata (lihat Rajah 1), Titik ini dipilih mengelilingi keseluruhan fasad. Titik ini terdiri daripada objek semulajadi (A1 - A4) dan sasaran buatan (A5). Setelah titik-titik kawalan dipilih, titik-titik ini dicerap dari dua stesen kamera dengan menggunakan cara persilangan teodolit. Sebanyak dua 'zero setting' untuk sudut ufuk dibuat ke atas setiap titik-titik kawalan dengan menggunakan alat teodolit elektronik Kern E2. Di samping sudut ufuk sudut pagak juga turut dicerap dan jarak antara stesen kamera (bes kamera) dicerap dengan menggunakan alat EDM. Setelah cerapan dan pelarasan dibuat, koordinat-koordinat titik kawalan adalah seperti yang tersenarai dalam Jadual 2.

Titik Kawalan	X(m)	Y(m)	Z(m) (Ketinggian)
A1	46.482	62.610	104.556
A2	44.408	62.571	112.043
A3	50.957	62.612	115.562
A4	57.490	62.571	112.017
A5	56.985	62.600	102.017

Jadual 2: Koordinat-koordinat titik kawalan

3.2 2 Pengambilan fotograf

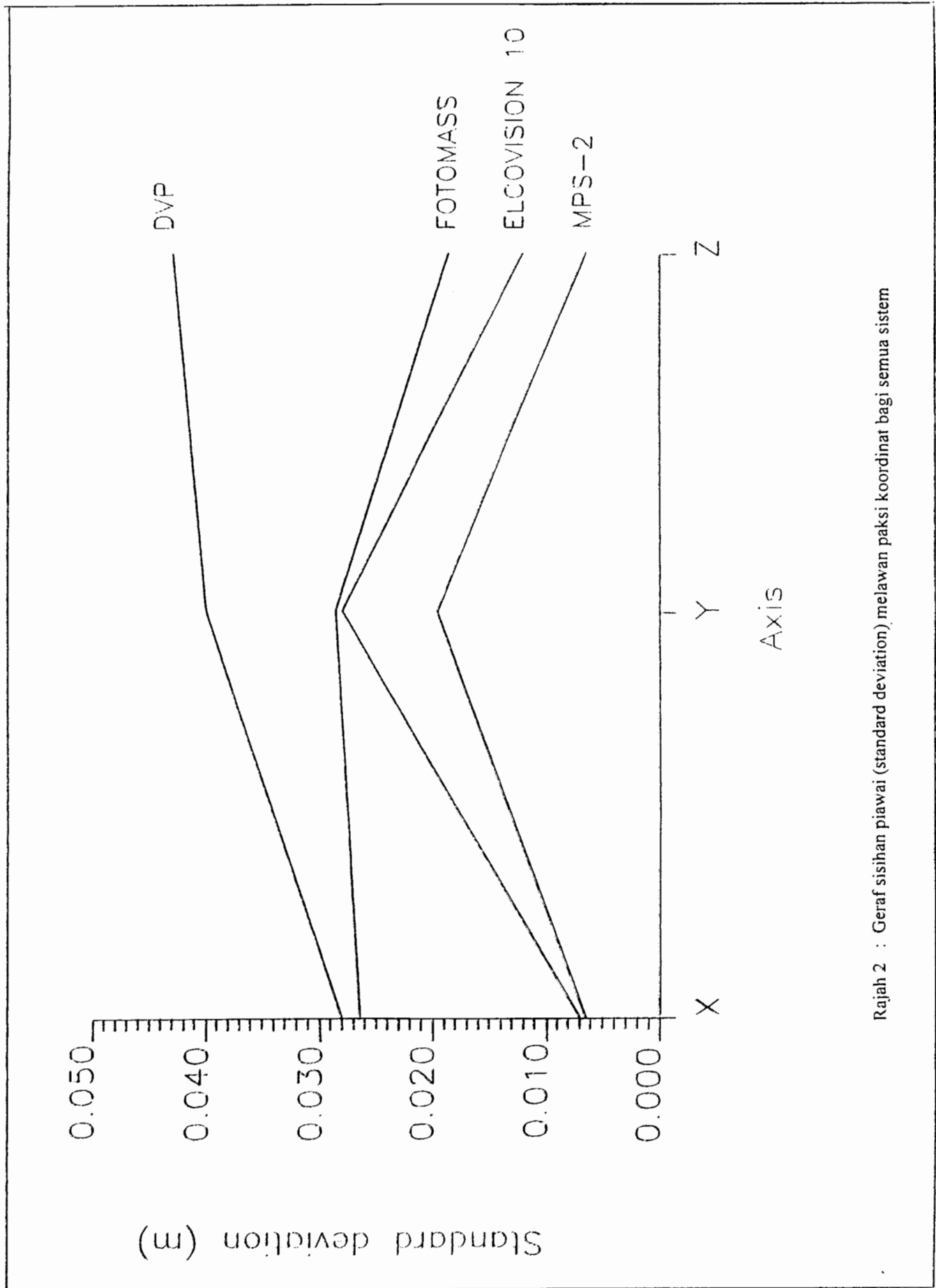
Fotograf bagi fasad bangunan yang mempunyai lima titik kawalan diambil dengan menggunakan kamera metrik Wild P32. Fotograf yang diambil mempunyai konfigurasi normal. Setelah diproses, diapositif dan fotograf cetakan kertas dihasilkan untuk kegunaan sistem FOTOMASS (cetakan kertas) dan Adam Technology MPS-2 (diapositif). Bagi sistem Leica DVP, setelah fotograf dihasilkan ianya diimbas pada 300 dpi (dot per inch) menggunakan pengimbas. Manakala untuk sistem Leica ELCOVISION 10 fotograf diambil dengan kamera Leica R5 seperti yang dibincangkan dalam Seksyen 2.4 dan fotograf yang digunakan adalah dalam bentuk cetakan kertas.

Selain daripada lima titik kawalan yang terdapat pada fasad bangunan, 22 titik-titik lain dipilih di atas fasad (lihat Rajah 1) untuk tujuan perbandingan data. Setelah fotograf untuk fasad yang mengandungi lima titik kawalan dan 22 titik-titik lain diambil dengan kamera metrik Wild P32, diapositif dihasilkan dan dimasukkan ke dalam alat plot analitik Zeiss Planicomp P3. Dalam alat ini, model stereo fasad dibentuk. Setelah itu pendigitan titik-titik 1 - 22 dilakukan sebanyak tiga kali dan bacaan purata (koordinat X, Y, Z) dirakamkan. Bacaan ini dianggap sebagai bacaan piawai. Begitu juga setiap sistem yang digunakan pendigitan titik-titik 1-22 dilakukan sebanyak tiga kali dan bacaan purata dirakamkan. Kemudian bacaan piawai dibandingkan dengan bacaan purata dari setiap sistem dan purata sisihan piawai dicatatkan (lihat Jadual 3). Rajah 2 menunjukkan graf sisihan piawai melawan paksi koordinat bagi semua sistem yang digunakan yang diplot berdasarkan Jadual 3.

Sistem	FM			MPS-2			DVP			ELCOVISION 10		
Paksi	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
Sisihan piawai (m)	0.027	0.028	0.027	0.007	0.020	0.007	0.028	0.040	0.043	0.007	0.028	0.012
Selisih vektor (m)		0.043			0.022			0.065			0.031	

Jadual 3: Hasil pengukuran bagi setiap sistem

Bagi membandingkan purata sisihan piawai (atau varians, S) bagi sistem-sistem yang digunakan, ujian statistik dilakukan. Ujian ini dikenalkan sebagainya 'Variance Ratio Test'. Ujian ini boleh digunakan untuk menguji penghampiran (proximity) unit varians yang dihitung dari hitungan kuasa dua terkecil hingga uniti, membanding alat-alat atau pencerap-pencerap dan menguji cerapan-cerapan (Cross, 1983). Tujuan 'Variance Ratio Test' digunakan adalah untuk melihat samada terdapat perbezaan yang nyata di antara keempat-empat sistem fotogrametri kos rendah. Untuk itu, varians-



Rajah 2 : Graf sisihan piawai (standard deviation) melawan paksi koordinat bagi semua sistem

varians dari sebarang dua sampel dari sistem-sistem yang digunakan dibandingkan bagi mengetahui samada mereka datang dari populasi dengan varians yang sama atau sebaliknya. Dari ujian ini, jika kedua-dua sampel datang dari populasi yang sama maka sampel-sampel ini boleh dianggap serupa.

Langkah seterusnya adalah untuk menentukan Taburan F (F (Fisher) Distribution) iaitu nisbah kuasa dua varian-varian dari dua sampel iaitu di mana S_1 dan S_2 adalah varians bagi sampel 1 dan 2 iaitu $F = S_1^2 / S_2^2$. Nilai Taburan F boleh didapati dari 'Percentile Table' dengan menggunakan nilai-nilai V_1 dan V_2 (iaitu darjah kebebasan). Nilai statistik yang dihitung dibandingkan dengan nilai yang diperolehi dari 'Percentile Table'. Jika nilai statistik F yang dihitung lebih besar dari nilai yang diperolehi dari 'Percentile Table', maka hipotesis sifar (null hypothesis) boleh ditolak atau sebaliknya.

Dari 'Percentile Table' Taburan F pada aras 5% tahap keertian dengan $V_1=22$ dan $V_2=22$, nilai Taburan F adalah 2.05 (lihat Lampiran A). Dari jadual 3, Adam Technology MPS-2 menunjukkan selisih vektor yang kecil. Oleh itu, nilai ini diambil sebagai S_2 dan selisih vektor bagi sistem-sistem lain yang diambil sebagai S_1 . Sebagai contoh, untuk menghitung nilai statistik F antara Adam Technology MPS-2 ($S_2=0.022$) dan Leica ELCOVISION 10 ($S_1=0.031$), didapati

$$F = (0.031)^2 / (0.022)^2 = 1.986$$

Keputusan nilai statistik F yang dihitung dan dibandingkan dengan nilai F dari 'Percentile Table' ditunjukkan dalam Jadual 4. Akhir sekali hipotesis sifar juga dinyatakan.

Sistem	Nilai Statistik F	Nilai Jadual	Hipotesis Sifar
MPS-2	-	-	-
DVP	8.729	2.05	Tolak
FM	3.820	2.05	Tolak
ELCOVISION 10	1.986	2.05	Terima

Jadual 4: Keputusan 'Variance Ratio Test'

5.0 KESIMPULAN

Dari kajian perbandingan ini, didapati sistem Adam Technology MPS-2 adalah sistem yang terbaikberbanding dengan tiga sistem yang lain. Sistem ini boleh menghasilkan ketepatan yang hampir dengan alat-alat plot analitik lazim dan ianya mempunyai kelebihan tambahan iaitu ianya boleh digunakan bersama-sama dengan kamera bukan metrik format kecil. Keputusan Leica ELCOVISION 10 adalah hampir dengan keputusan Adam Technology MPS-2. Walaubagaimana pun, fotograf-fotograf bagi sistem Leica ELCOVISION 10 ini mesti diambil dengan menggunakan kamera metrik Leica R5. Sistem-sistem lain, iaitu FM & Leica DVP tidaklah memberikan keputusan yang baik berbanding dengan sistem-sistem Adam Technology MPS-2 & Leica ELCOVISION 10.

Secara umum, keempat-empat sistem ini boleh digunakan dalam kerja-kerja fotogrametri tetapi pemilihan sistem mestilah berdasarkan kepada faktor-faktor seperti ketepatan, jenis objek dan sumber kewangan.

RUJUKAN

Anuar, A., 1992. An investigation of low cost photogrammetric systems using small format photography for use in the recording of buildings. M.Phil Thesis, Department of Surveying, University of Newcastle Upon Tyne, 158 pages.

Anuar, A., 1994. Architectural Photogrammetry for Conservation & Restoration of Historical Building: An Experience with MPS-2. *Buletin Ukur*, Jilid 5, No. 3, Oktober, 1994.

Adam Technology MPS-2, 1991. *MPS-2 User's Manual*, Adam Technology, Australia.

Cross, P.A., 1983. *Advanced Least Squares Applied to Position Fixing*. Working Paper No. 6, Department of Land Surveying, North East London Polytechnic, 205 pages.

DVP, 1991. *Digital Video Plotter Instruction Book*, DVP Photogrammetric Systems Inc., Canada.

Gagnon, P.A. Nolette, C. and Agnard, J.P. 1992. DVP: Design, Operation and Performance, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58 (1): 65 - 69.

Leica ELCIVISION 10, 1991. *ELCOVISION 10 handbook*, Leica UK Ltd.

Spirit AEC, 1990 FOTOMASS *Version 3 Reference Manual*, Spirit AEC Software Technology Ltd., U.K.



Anuar Ahmad

Anuar Ahmad mendapat pendidikan dalam bidang Ukur dan Pemetaan dengan B.Sc. dalam tahun 1987 dan M.Phil. dalam tahun 1992 dari University of New Castle upon Tyne, U.K. Beliau kini adalah pensyarah di Fakulti Ukur dan Harta Tanah, Panel Remote Sensing dan Fotogrametri. Aktiviti penyelidikan yang sedang

diceburi ketika ini ialah dalam bidang Fotogrametri Jarak Dekat.